LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
BŪVKONSTRUKCIJU KATEDRA

Lilita OZOLA

KOKA BŪVKONSTRUKCIJU APLĒSE UN KONSTRUĒŠANA
II

1. un 5. Eirokodeksa pielietošana būvprojektēšanā

Jelgava
2011

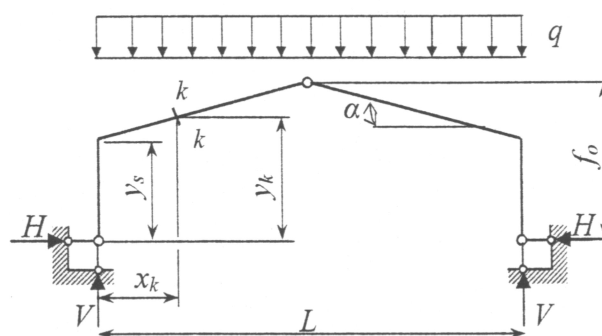
7. TRĪSLOCĪKLU RĀMJI (PORTĀLRĀMJI)

7.1. Portālrāmju vispārīgs raksturojums

Vispārinātā nozīmē koka rāmji ir visai daudzveidīga konstrukciju grupa. Šajā nodaļā apskatīti tā saucamie portālrāmji, ko izgatavo no pilnsieniņas šķērsgriezuma līmētiem koka elementiem. Portālrāmja tipa nesošā konstrukcija ir piemērota atbilstošiem telpiskā plānojuma un pārsedzamā laiduma (12...30 m) nosacījumiem, piemēram, noliktavu ēkām, lopu mītnēm, nelielām sporta zālēm un citām ēkām. Jāatzīmē, ka rūpnieciski izgatavotiem koka pusrāmjiem ar līmētiem zobotiem sadursavienojumiem dzegā ir ierobežots pielietojums sakarā ar nepietiekamu stata garumu, kas nedrīkst pārsniegt pieļaujamo transportējamās kravas augstumu (3.5-4.2 m). Lielāka augstuma rāmjiem projektē stingu montāžas savienojumu dzegā ar mehāniskajiem savienotājlīdzekļiem (skrūvēm un pretbīdņiem), ko iespējams samontēt uz vietas.

Portālrāmis ir samērā dārga konstrukcija, tāpēc nesošo konstrukciju soli izvēlas 3-6 m vai pat 7.2 m. Jāņem vērā, ka, palielinot soli, palielinās materiālietilpība kopturiem vai pārseguma paneļiem. Optimāla rāmju soļa izvēle ir katra konkrētā projekta uzdevums.

Portālrāmis sastāv no diviem stingiem diskiem (jeb montāžas elementiem), kas nekustīgi nostiprināti balstos un savienoti korē ar nekustīgas locīklas tipa savienojumu. Statiskajā aprēķinā šādu sistēmu definē kā trīslocīklu rāmi, kas ir statiski noteicama balstbīdes konstrukcija (7.1. att.). Iedarbojoties vertikālai slodzei q uz pamatiem tiek pārnests gan vertikālais spēks (V), gan balstbīdes spēks (H), kura vērtību iegūst no vienas puses spēku momentu statiskā līdzsvara vienādojuma pret kores locīklas punktu. Vienmērīgi sadalītas slodzes gadījumā $V= q{\cdot}L/2$, $H= q{\cdot}L^2/(8{\cdot}f_o)$. Jo lielāks attālums f_o starp balsta un kores locīklām, jo mazāks balstbīdes spēks, ko izraisa vertikālā slodze. Samazinās arī lieces moments dzegas šķēlumā ($M=H{\cdot}y_s$), no kura vērtības ir būtiski atkarīgs šķērsgriezuma augstums dzegā.



7.1. att. *Trīslocīklu rāmja aprēķina shēma*

Veiksmīgi analizējot minētos apsvērumus un saskaņojot ar telpiskā plānojuma nosacījumiem var iegūt samērā optimālu rāmja risinājumu. Statiski noteicama koka konstrukcija ir ilgtspējīga ekspluatācijā, jo mazāk pakļauta plaisām salīdzinājumā ar statiski nenoteicamiem divlocīklu rāmjiem, kas ērtāki montāžā.

7.2. Norādes trīslocīklu rāmju statiskajam aprēķinam

Slodzes uz rāmi nosaka saskaņā ar 1.Eirokodeksu,- skatīt šīs grāmatas 1.nodaļu, kā arī slodžu aprēķina piemēru 5.nodaļā. Iekšējo spēku aprēķina vērtības nosaka slodžu kombinācijās (skatīt punktu 1.7).

Vispirms aprēķina balstu reakcijas no spēku momentu līdzsvara vienādojumiem pret locīklu punktiem. Tā kā trīslocīklu rāmis ir statiski noteicama sistēma, iekšējos spēkus var noteikt ar šķēlumu metodi. Piemēram, lieces momentu (M_k), šķērsspēku (Q_k) un aksiālspēku (N_k) šķēlumā k-k aprēķina pēc formulām:

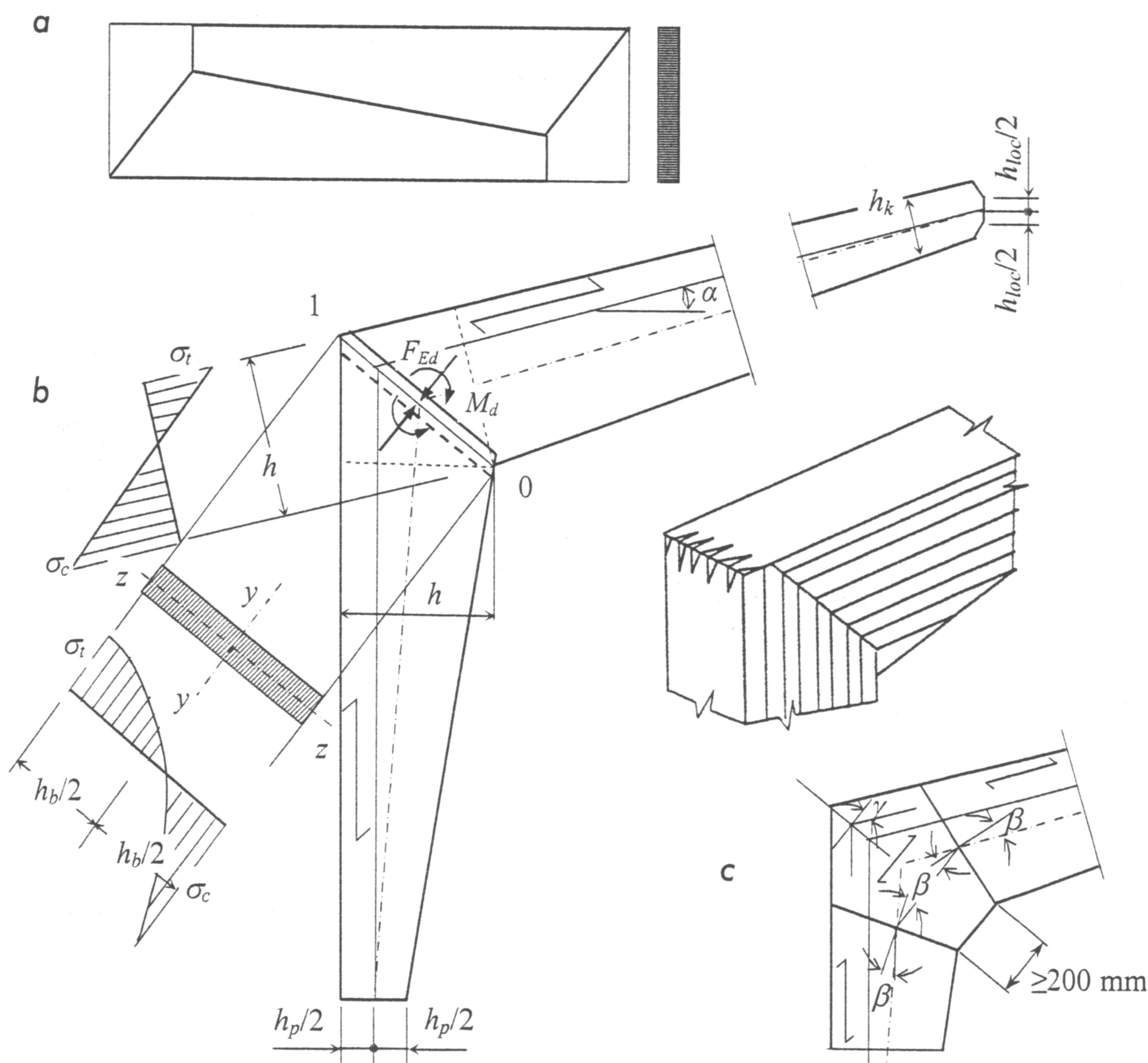
$M_k= V{\cdot}x_k -H{\cdot}y_k - q{\cdot}x_k^{\,2}/2$; $\quad Q_k= (V- q{\cdot}x_k){\cdot}cos\alpha - H{\cdot} sin\alpha$; $\quad N_k= -(V- q{\cdot}x_k){\cdot}sin\alpha - H{\cdot} cos\alpha$.

Neliela vēja ātruma reģionos noteicošā rāmja projektēšanai ir pastāvīgās un sniega slodzes kombinācija, uz ko ir pietiekami veikt statisko aprēķinu tehniskā projekta līmenī.

7.3. Pusrāmja konstruēšana un elementu nestspējas aprēķini

7.3.1. Portālrāmis ar līmētām zobotām šuvēm dzegā

Pusrāmi veido zem leņķa stingi savienoti rīģeļa un stata elementi ar mainīgu šķērsgriezuma augstumu. Šķēluma augstumu dzegas daļā pieņem (*L*/25...*L*/20) un precizē saskaņā ar nestspējas robežstāvokļu nosacījumiem. Šķēluma platumu pieņem 18..25 cm no konstruktīviem un tehnoloģiskiem apsvērumiem. Šķēluma augstumu pie kores locīklas pieņem $h_k = h/4...h/3$, bet pie balsta- $h_p = h/3...h/2$, kurus precizē konstruējot mezglus. Rīģeļa un stata elementus izzāģē no atbilstošu izmēru rūpnīcā izgatavotiem līmētās koksnes blokiem (7.2. att.- a). Elementiem izfrēzē zobus, kuru ģeometriskie parametri atbilst standarta prasībām lielzobu šuvēm [*LVS EN 387*]. Rīģeļa un stata elementus salīmē savienojot sazobē. Procesā stingri jāievēro līmēšamas tehnoloģiskās prasības. Savienojums atrodas visvairāk slogotajā bisektrises šķēlumā, kas raksturojas ar nevienmērīgu normālspriegumu sadalījumu (7.2. att.- b), pie kam tie darbojas leņķī pret šķiedru garenvirzienu. Tādējādi vājākā ir bisektrises šķēluma spiestā mala koksnes anizotropijas ietekmē, kuras stiprības nosacījums parasti ir noteicošais škērsgriezuma izmēru izvēlē šādiem rāmju dzegas risinājumiem.



7.2. att. *Pusrāmis*: a- *līmētā bloka shēma*, b- *pusrāmis ar zoboto līmēto saduršuvi bisektrises šķēlumā*, c- *pusrāmja dzegas daļa ar ielīmētu augstākas stiprības elementu.*

Rāmja dzegas daļā var ievietot ieliktni (7.2. att.- c), ko ar līmētām lielzobu šuvēm savieno ar rīģeļa un stata elementiem. Mezgla ieliktni var veidot kā taisnu vai liektu elementu no mazāka biezuma un augstākas stiprības klases dēļiem vai no smalkslāņu līmētās koksnes (*LVL*) materiāla. Racionālu risinājumu iegūst, ja šuves šķēluma plaknes normāles leņķis ar šķiedru virzienu ir puse no bisektrises šķēluma plaknes normāles veidotā leņķa ar rīģeļa (stata) elementa šķiedru garenvirzienu: $\beta = \gamma/2$, jo tad būs mazāka anizotropijas ietekme uz koksnes nestspēju virsmas spiedē [*Timber Engineering, 2003*]. Konkrētiem slogojuma apstākļiem piemēroti portālrāmju konstruktīvā risinājuma varianti ir parādīti 7.4. un 7.5. attēlos.

Pusrāmja elements strādā kā spiesti liekts. Nestspējas robežstāvokļos atbilstoši iekšējo spēku vērtībām neizdevīgākajās slodžu kombinācijās izpilda normāl- un tangenciālspriegumu stiprības pārbaudes raksturīgajos šķēlumos, kā arī pusrāmja elementa noturības pārbaudes. Zināmu nenoteiktību noturības aprēķina parametru definēšanā rada elementu mainīgais šķērsgriezuma augstums. Šajā nodaļā izklāstītā rāmja elementu stiprības un noturības aprēķinu metodika balstās uz 5.Eirokodeksa un vācu būvnormatīva DIN 1052 pantiem.

Pusrāmja elementu **stabilitāti rāmja darbības plaknē** pārbauda saskaņā ar spiesti liekta elementa noturības nosacījumu: skatīt paragrāfu 3.3 vai 5.Eirokodeksu [*LVS EN 1995-1-1, punkts 6.3.2*]. Mainīgā šķērsgriezuma pusrāmja elementu ģeometriskos raksturlielumus stabilitātes aprēķinā reprezentē reducētie stata un rīģeļa šķēlumu inerces momenti J_o un J_s, kurus definē šķēlumiem *n-n* un *k-k* (7.3. att.), kas atrodas attālumā $0.65s$ vai $0.65H$ no attiecīgā elementa gala ar mazāko šķērsizmēru. Pusrāmja elementu (stata un rīģeļa) efektīvos garumus ($\ell_{ef,y,st}$ un $\ell_{ef,y,r}$) rāmja darba plaknē aprēķina pēc formulām:

$$\ell_{ef,y,st} = H \cdot \sqrt{4+1.6c}\,; \qquad (7.1) \qquad\qquad \ell_{ef,y,r} = H \cdot \sqrt{4+1.6c} \cdot \sqrt{k}\,, \qquad (7.2)$$

kur c un k – pusrāmja elementu stinguma faktori, ko aprēķina pēc formulām:

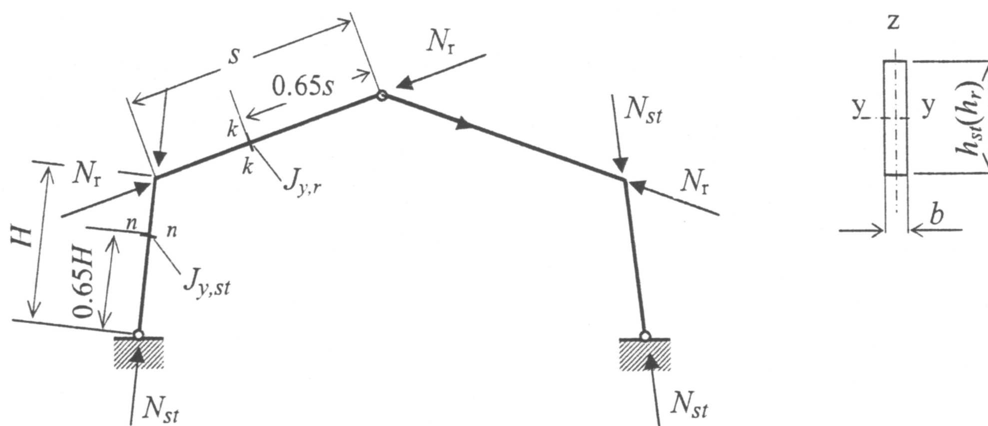
$$c = \frac{J_{y,st} \cdot 2s}{J_{y,r} \cdot H}\,; \qquad (7.3) \qquad\qquad k = \frac{J_{y,r} \cdot N_{d,st}}{J_{y,st} \cdot N_{d,r}}\,. \qquad (7.4)$$

Inerces rādiusi stata un rīģeļa šķēlumiem *n-n* un *k-k* pret asi *y-y*:

$$i_{y,n\text{-}n} = 0.289 \cdot h_{st}\,; \quad i_{y,k\text{-}k} = 0.289 \cdot h_r.$$

Ļodzes faktoru noteikšanai izmanto mainīgā šķērsgriezuma stata un rīģeļa elementu nosacītās absolūtā slaiduma vērtības: $\lambda_{y,st} = \ell_{ef,y,st}/i_{y,n\text{-}n}$, $\lambda_{y,r} = \ell_{ef,y,r}/i_{y,k\text{-}k}$.

Maksimālo šķērsspēku darbības šķēlumos (pie kores locīklas un balstā) jāpārbauda tangenciālspriegumu stiprība (skatīt punktu 3.3.4).



7.3. att. *Portālrāmja ģeometrisko raksturlielumu noteikšanas shēma*

Koksnes stiprību virsmas spiedē plastiskās darbības stadijā leņķī pret šķiedrām zobotās šuves šķēlumā pārbauda saskaņā ar nosacījumu:

$$F_{E,d}/(k_{cy} \cdot A_{ef}) + M_d/W_{y,ef} \leq f_{c,\beta,d}, \qquad (7.5)$$

kur $F_{E,d}$ - spiedes spēka aprēķina vērtība apskatāmajā šķēlumā,

M_d – lieces momenta aprēķina vērtība šķēlumā tajā pašā slodžu kombinācijā,

A_{ef} – zobotās šuves šķēluma efektīvais laukums, ko pieņem par 20% mazāku nekā faktiskais laukums: $A_{ef} = 0.8 \cdot A$,

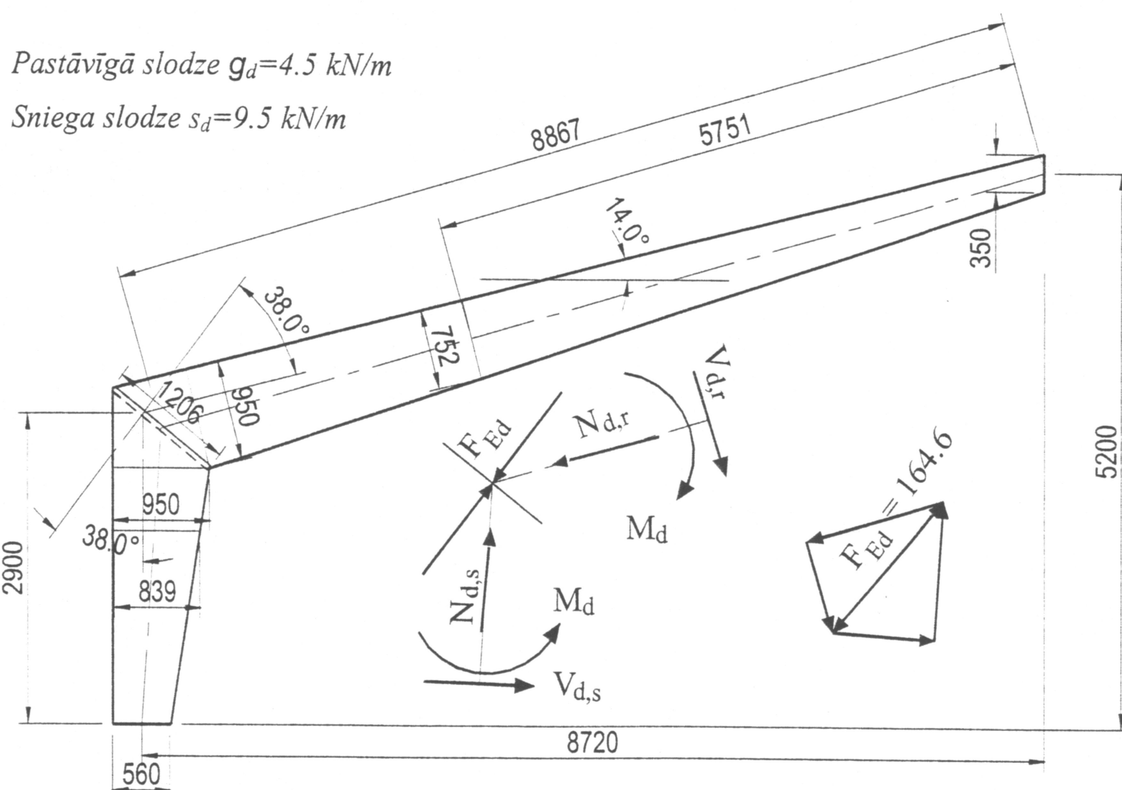
k_{cy} – elementa ļodzes faktors (skatīt punktu 3.3.4) šķērsrāmja plaknē, kas noteikts izmantojot nosacītā slaiduma vērtību[1],

$W_{y,ef}$ – šķēluma efektīvais pretestības moments pret šķēluma asi, ap kuru darbojas lieces moments (7.3. att.- b): $W_{y,ef} = 0.8 \cdot W_y$,

$f_{c,\beta,d}$ – koksnes aprēķina pretestība virsmas spiedē leņķī β pret šķiedru garenvirzienu, ko aprēķina pēc precizētas formulas [*Becker, 2006*]:

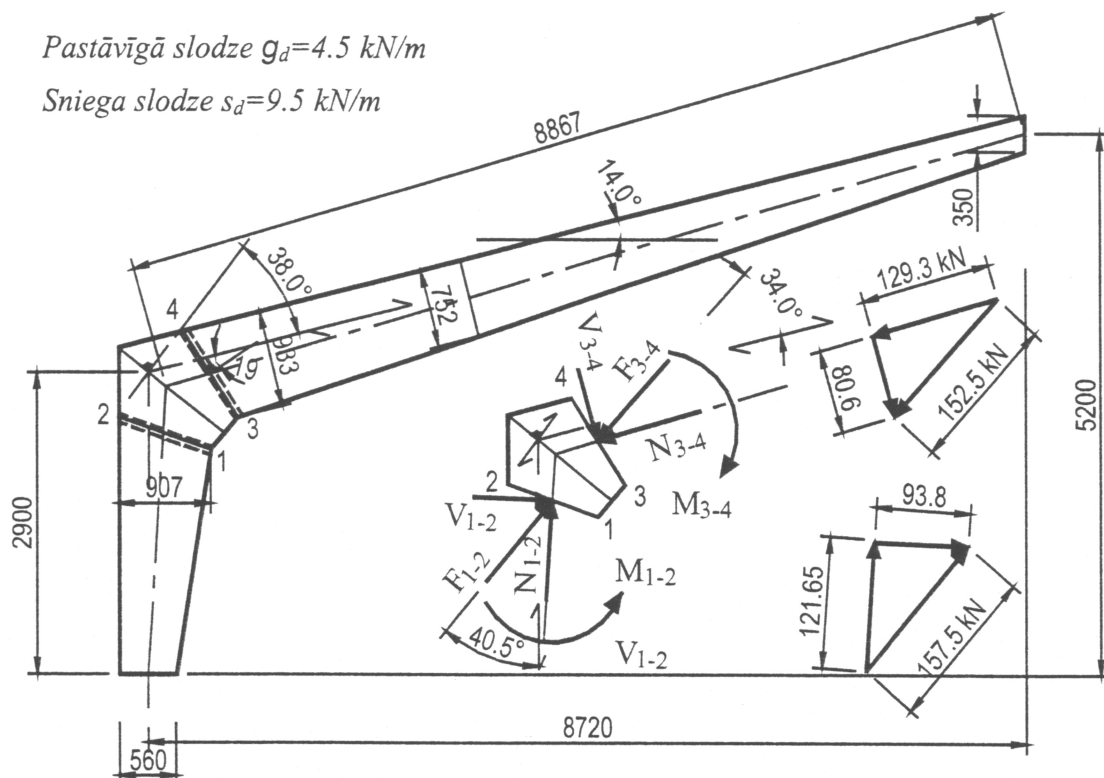
$$f_{c,\beta,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 f_{c,90,d}} \cdot sin^2\beta\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 f_{v,d}} \cdot sin\beta \cdot cos\beta\right)^2 + cos^4\beta}}, \qquad (7.6)$$

kur $f_{c,0,d}$, $f_{c,90,d}$, $f_{c,v,d}$ - koksnes pretestības aprēķina vērtības attiecīgi spiedē šķiedru garenvirzienā, šķērsām garenvirzienam un cirpē (skatīt punktu 3.2.3).



7.4. att. *Portālrāmja konstruktīvā risinājuma piemērs ar spēku diagrammām bisektrises šķēluma stiprības aprēķiniem*

[1] Šeit ir diskutabls jautājums par efektīvo spriegumu nozīmīgumu attiecībā uz šķēluma stiprību virsmas spiedē. Ļodzes faktoru formulā (7.5) var ignorēt (pieņemt $k_{c,y}$= 1), jo lokālā spiedē ir pieļaujama koksnes darbība plastiskā stadijā.



7.5. att. *Portālrāmja konstruktīvā risinājuma piemērs ar augstākas stiprības dzegas elementu*

7.3.2. Portālrāmis ar mehāniskajiem savienotājlīdzekļiem dzegā

Pusrāmim ar elastīgiem mehāniskajiem savienotājlīdzekļiem dzegā slodžu iedarbībā novērojama lielāka leņķa ($C\varphi$) izmaiņa starp stata un rīģeļa elementu asīm nekā līmēta savienojuma gadījumā. Tāds savienojums pieder pie daļēji stingiem (*semi-rigid*), kas lieces momentu pārnes ar pietiekamu nodrošinājumu, bet tomēr attīstās ievērojami lielāki pārvietojumi nekā rāmim ar līmētām zobotām sadurām. Stata un rīģeļa elementu efektīvā garuma noteikšanai stabilitātes aprēķinam rāmja darba plaknē ieteicams izmantot Vācijas būvnormās definētās sakarības [*DIN EN 1995-1-1 vai DIN 1052*]:

- stata efektīvais garums (7.6. att.) $\quad \ell_{ef,y,st} = \beta_s \cdot H$, (7.7a)

- rīģeļa efektīvais garums $\quad \ell_{ef,y,r} = \beta_r \cdot s$, (7.7b)

kur β_s un β_r – koeficienti, kas ievērtē pusrāmja elementu stinguma īpašības un ko aprēķina pēc formulām[2]:

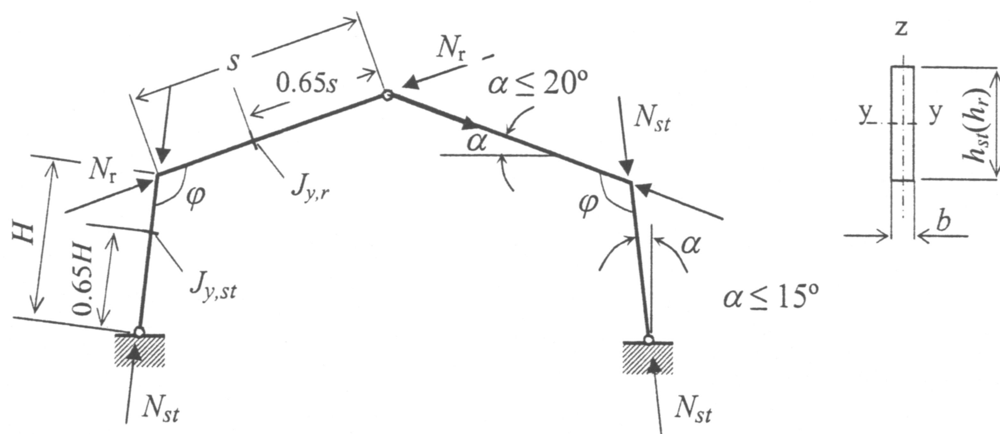
$$\beta_s = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot (E_{0,mean}/\gamma_M) \cdot J_{y,st}}{H} \cdot \left(\frac{1}{K_\varphi} + \frac{s}{3 \cdot (E_{0,mean}/\gamma_M) \cdot J_{y,r}} \right) + \frac{J_{y,st} \cdot N_{d,r} \cdot s^2}{J_{y,r} \cdot N_{d,st} \cdot H^2}} ; \quad (7.8)$$

$$\beta_r = \beta_s \cdot \sqrt{\frac{J_{y,r} \cdot N_{d,st}}{J_{y,st} \cdot N_{d,r}}} \cdot \frac{H}{s}, \quad (7.9)$$

kur K_φ – savienojuma stinguma konstante (ar momenta mērvienību), ko definē eksperimentālo pētījumu rezultātā atbilstoši savienojuma elastīgi plastiskām īpašībām (K_φ>> 1). Stingam savienojumam $K_\varphi \rightarrow \infty$.

---

[2] Formulas (7.8) un (7.9) piemērotas parastam gadījumam, kad rāmja stata un rīģeļa materiālu elastības moduļi ir vienādi.

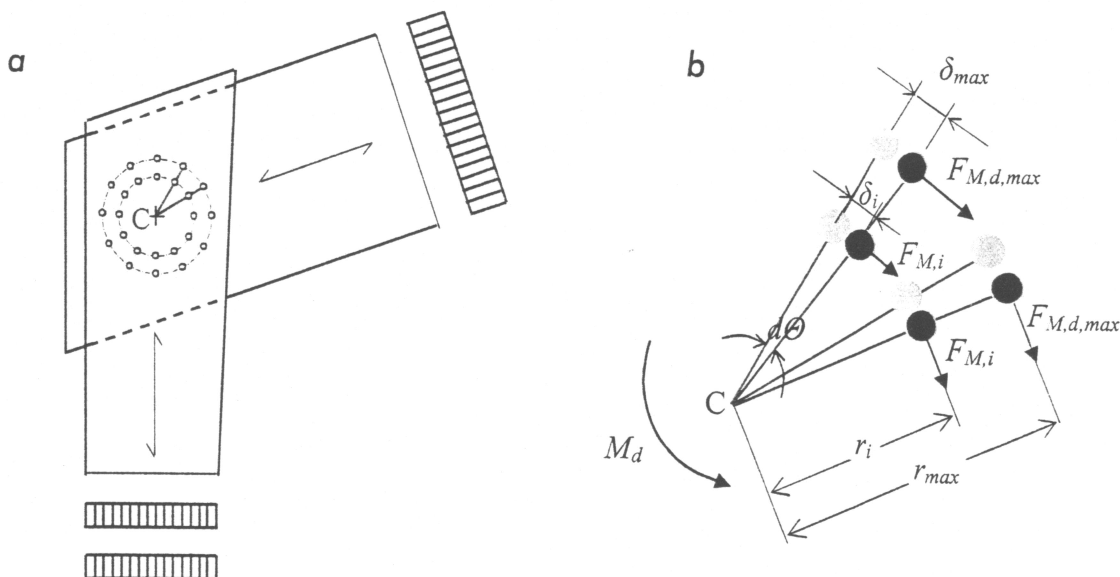


7.6. att. *Portālrāmja ģeometriskoraksturlielumu noteikšanas shēma (variants ar daļēji stingu dzegas mezglu)*

7.4. Rāmja dzegas mezgla risinājums ar mehāniskajiem savienotājlīdzekļiem un nestspējas aprēķini

Portālrāmja stata un rīģeļa elementu montāžas savienojumu veido kā tapu grupu (7.6. att.- a), kas nodrošina lieces momenta pārnešanu savienotājlīdzekļiem un koksnei elastiski plastiski mijiedarbojoties. Jāņem vērā, ka šādā savienojumā tiek pārnesti spēki, kas izraisa spriegumus koksnē šķērsām šķiedrām. Bez tam tapas ligzdas sieniņa tiek noslogota lokālā spiedē, ko pavada plastisko deformāciju attīstība (7.7. att.- b). Tādējādi minētais savienojums klasificējams kā daļēji stings (*semi-rigid connection*).

Simetriski izvietotu vienāda diametra savienotājlīdzekļu gadījumā (7.7. att.- a) var pieņemt, ka iespējamās rotācijas centrs ir mezgla ģeometriskā centra punkts „C", un ārējo spēku radītais lieces moments izraisa reaktīvos spēkus $F_{M,d,max}$ un F_i, kas iedarbojas uz atsevišķiem savienotājlīdzekļiem, kuri izvietoti attiecīgi pa ārējo un iekšējo aploci.



7.7. att. *Rāmja stingais dzegas mezgls*: a- *konstruktīvā shēma*, b- *momenta iedarbībā izraisīto iekšējo spēku vektoru ģeometriskā shēma*

Simetriski izvietotu vienāda diametra savienotājlīdzekļu gadījumā (7.7. att.- a) var pieņemt, ka iespējamās rotācijas centrs ir mezgla ģeometriskā centra punkts „C", un ārējo spēku radītais lieces moments izraisa reaktīvos spēkus $F_{M,d,max}$ un F_i, kas iedarbojas uz atsevišķiem savienotājlīdzekļiem, kuri izvietoti attiecīgi pa ārējo un iekšējo aploci.

Pamatojoties uz lineāru sakarību starp spēkiem un deformācijām, tapas lineārā pārvietojuma lielumu attiecīgi ārējā un iekšējā rindā var izteikt kā bīdes spēka un nobīdes moduļa attiecību:

$$\delta_{max} = F_{M,d,max}/K; \quad (7.10) \qquad \delta_i = F_{M,i}/K, \quad (7.10a)$$

kur $F_{M,i}$, $F_{M,d,max}$ – bīdes spēki, kas iedarbojas uz atsevišķo tapu attiecīgi ārējā un iekšējā aplocē;

K – tapas bīdes modulis spēka darbības virzienā [*LVS EN 1995-1-1, 7.1 apakšnodaļa*].

Ņemot vērā sakarību (7.10) un pielietojot robežu teoriju*, bezgalīgi mazā pagrieziena leņķa $d\Theta$ (7.7. att.- b) lielumu radiānos var izteikt ar vienādojumu,:

$$d\Theta = \frac{\delta_{max}}{r_{max}} = \frac{F_{M,d,max}}{K \cdot r_{max}}, \quad (7.11)$$

no kurienes iegūstam bīdes spēka izteiksmi, kas iedarbojas uz katru ārējās aploces tapu pieskares virzienā:

$$F_{M,d,max} = K \cdot \delta_{max} = K \cdot r_{max} \cdot d\Theta, \quad (7.12)$$

kur r_{max} – bīdes spēka $F_{M,d,max}$ plecs pret punktu „C".

Vispārīgi, ņemot vērā pārvietojumu δ_i un δ_{max} savstarpējo tiešo proporcionalitāti, bīdes spēku, kas iedarbojas uz jebkuru iekšējā vai ārējā aplocē izvietoto savienotājlīdzekli, var izteikt ar sakarību:

$$F_{M,i} = K \cdot \delta_i = K \cdot r_{max} \cdot d\Theta \cdot \frac{r_i}{r_{max}}, \quad (7.13)$$

Tad atsevišķā savienotājlīdzekļa reaktīvā bīdes spēka momentu pret rotācijas centru „C" apraksta izteiksme:

$$M_i = F_{M,i} \cdot r_i = K \cdot r_{max} \cdot d\Theta \cdot \frac{r_i^2}{r_{max}} = F_{M,d,max} \cdot \frac{r_i^2}{r_{max}}, \quad (7.14)$$

kur r_i – bīdes spēka $F_{M,i}$ plecs pret punktu „C".

Apskatāmā spēku sistēma saglabā līdzsvaru, ja pieliktais moments (M_d) ir vienāds ar reaktīvo spēku momentu summu pret rotācijas centru „C", kuri darbojas katra savienotājlīdzekļa nobīdes plaknēs. Aktīvo un reaktīvo spēku momentu līdzsvaru var aprakstīt ar vienādojumu:

$$M_d = \frac{n_c \cdot F_{m,d,max}}{r_{max}} \sum_{i=1}^{n} r_i^2, \quad (7.15)$$

kur n_c – nobīdes plakņu skaits.

No līdzsvara vienādojuma (7.15) izsakām maksimālo bīdes spēku, kas iedarbojas uz atsevišķo savienotājlīdzekli ārējā aplocē :

$$F_{M,d,max} = \frac{M_d \cdot r_{max}}{n_c \cdot \sum_{i=1}^{n} r_i^2}. \quad (7.16)$$

Izteiksme (7.15) ir spēkā savienojumam, kur vienāds skaits savienotājlīdzekļu izvietoti pa divām aplocēm (r_i , r_{max}) vai arī visi savienotājlīdzekļu izvietoti pa vienu aploci ($r_i = r_{max}$). Ja

---

* Bezgalīgi maza leņķa tangenss tiecas uz šī leņķa vērtību radiānos: $\underrightarrow{\lim}(\mathrm{tg}d\Theta) \cong d\Theta$.

iekšējā aplocē ir mazāks savienotājlīdzeļu skaits nekā ārējā, tad bīdes spēku, kas iedarbojas uz atsevišķo savienotājlīdzekli ārējā aplocē aprēķina pēc formulas:

$$F_{M,d,max} = \frac{M_d \cdot r_1}{n_c \cdot \left(n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2\right)}. \tag{7.17}$$

Bez lieces momenta rāmja dzegas mezglā jāpārnes arī pievienojamā elementa ass spēka un šķērsspēka rezultante F_{Ed} (7.8. att.). Šajā mezgla aprēķina modelī pieņem, ka visi savienotājlīdzekļi pārnes vienādu iekšējo spēku rezultantes daļu $F_{Ed,i}$:

$$F_{Ed,F} = \frac{F_{Ed}}{n \cdot n_c}, \tag{7.18}$$

kur n – savienotājlīdzekļu skaits; n_c – nobīdes plakņu skaits.

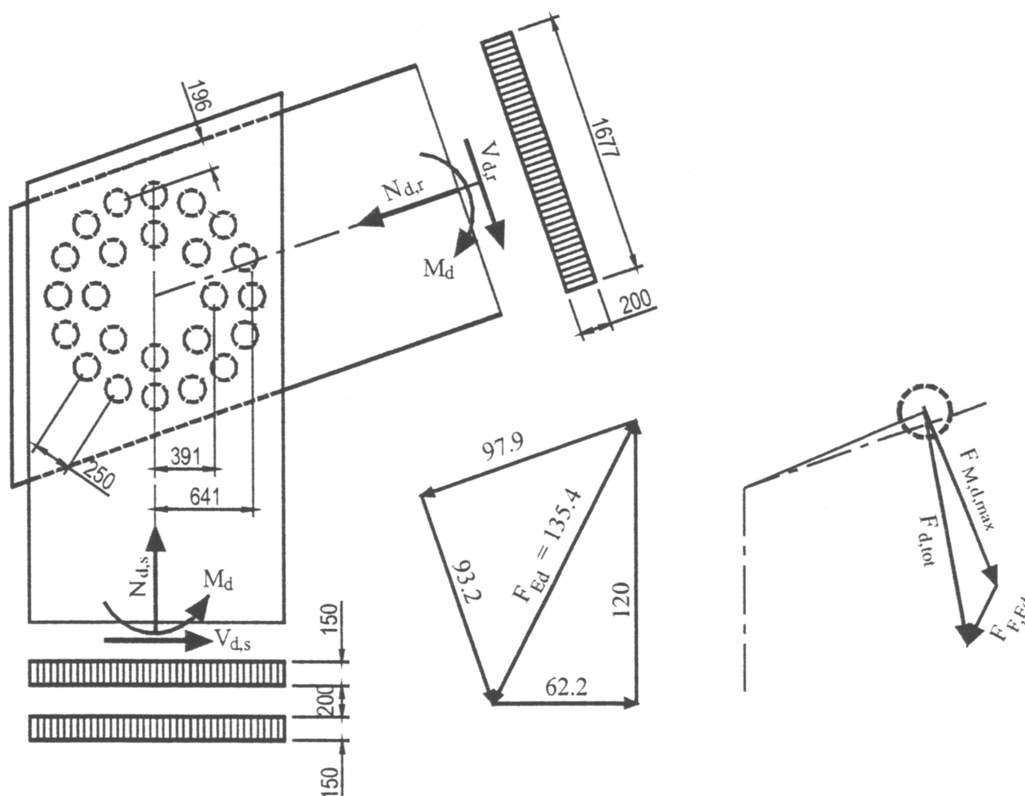
Vektoriāli summējot reaktīvos spēkus $F_{M,d,max}$ un $F_{Ed,F}$ iegūst kopējo reaktīvo spēku $F_{Ed,i}$, kas iedarbojas uz atsevišķo savienotājlīdzekli ārējā aplocē.

Lai nodrošinātu projektētā savienojuma pietiekamu pretestību lieces momenta un iekšējo spēku iedarbei, jāizpildās nestspējas robežstāvokļu nosacījumam:

$$F_{Ed} \leq F_{v,\alpha,Rd}, \tag{7.19}$$

kur $F_{v,\alpha,Rd}$ – savienotājlīdzekļa (tapas, skrūves, zobotā pretbīdņa) nestspēja vienā nobīdes plaknē neizdevīgākajā leņķī α, ko veido spēka vektors ar šķiedru virzienu.

Portālrāmja balstos un korē konstruē locīklas tipa savienojumus. Neliela laiduma (līdz 20 m) rāmjiem pieļaujams veidot nosacītas locīklas, ass spēku pārnesot tieši caur kontaktvirsmu, bet šķērsspēka pārnešanai parasti kalpo skrūves. Šādu mezglu risinājumi apskatīti literatūrā [*Ганноев, 2004*; *Ozola, 1990*]. Lielāka laiduma rāmjiem veido „ideālas" locīklas (skatīt risinājuma piemēru 8.nodaļā).



7.8. att. Rāmja nosacīti stingā montāžas mezgla risinājuma piemērs un iekšējo spēku poligoni

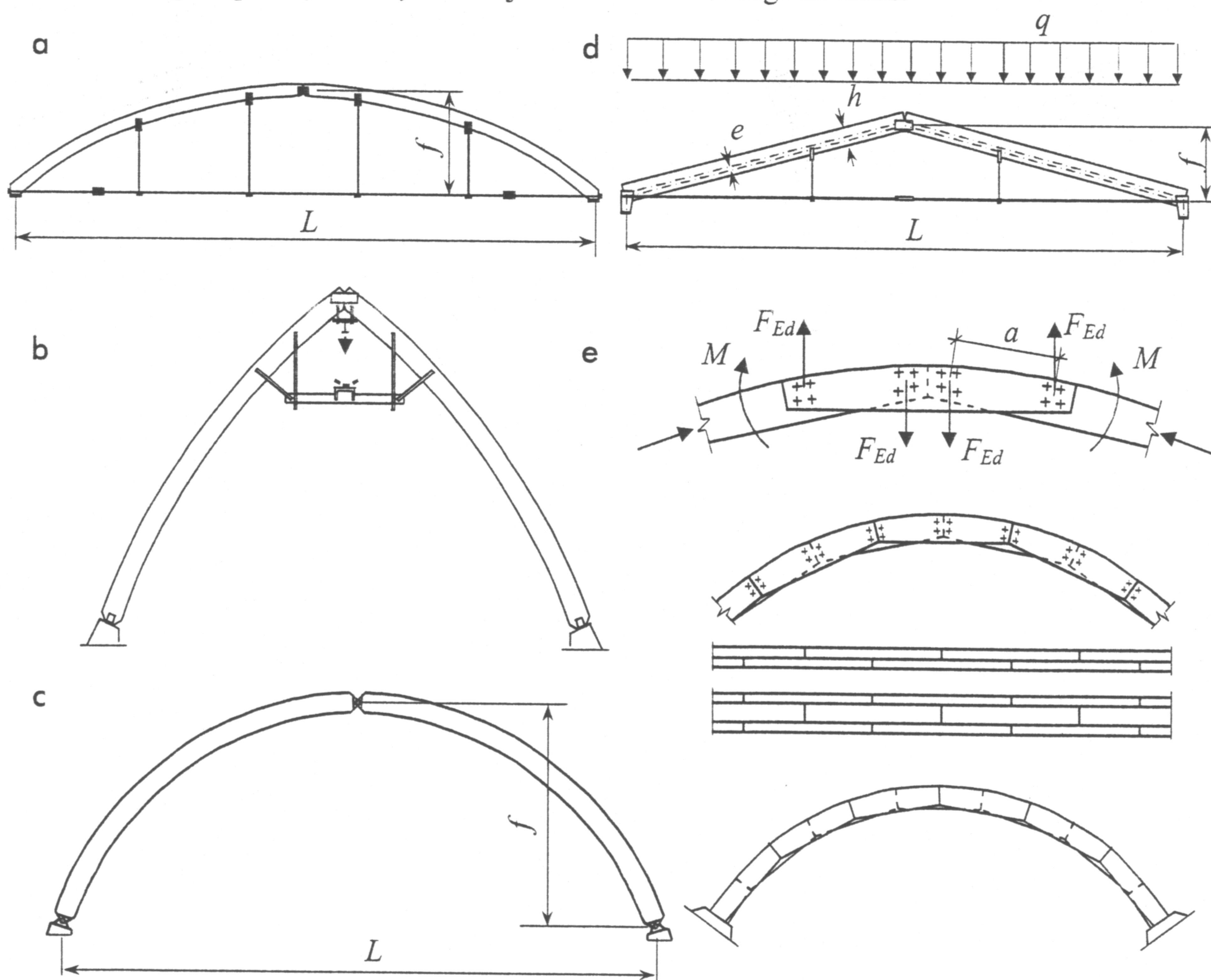
8. KOKA ARKAS

8.1. Koka arku veidi

Vēsturiski būvniecības praksē ir pielietoti dažādi arku veidi (8.1. att.). Lielu laidumu pārsegšanai izmanto lokveida arkas. Arka ir balstbīdes konstrukcija, kas pārnes uz balstiem ievērojamus horizontālos spēkus. Ja pamatnes gruntis ir vājas vai arī arku paredzēts balstīt uz stingām mūra sienām, balstbīdes pārnešanai var pielietot savilci, ko izvieto grīdas vai pārseguma līmenī. Savilcei parasti izvēlas tēraudu vai kādu no plastikātiem ar augstu stiprību un ilgizturību agresīvā ekspluatācijas vidē.

Ģeometriski arku raksturo ar diviem galvenajiem parametriem- laidumu L un pacēluma augstumu f. Atbilstoši laiduma un augstuma attiecībai klasificē lēzenās arkas ($L/f = 4...6$) un augstās arkas ($L/f = 2...3$), pēdējās veido arī kā smailloka arkas atbbilstoši telpas izmantošanas veidam un slodžu koncentrācijai kores zonā. No būvstatikas zināma likumsakarība- jo lielāks pacēluma augstums, jo mazāks balstbīdes spēks H ($H = M_o/f$, kur M_o ir lieces moments analogas divbalstu sijas šķēlumā). Statiskā ziņā sevišķi izdevīgas ir smailloka arkas, ja slodzes koncentrētas laiduma vidusdaļā, piemēram, noliktavas pārseguma konstrukcija (8.1. att.- b).

Mūsdienās lokveida arkas veido no liekti līmētiem koka elementiem. Arkām parasti izvēlas taisnstūra šķērsgriezuma formu, bet pielieto arī dubult-T profila un kārbveida elementus ar mitrumizturīgā saplākšņa sieniņām. Projektē un būvē arī režģotās arkas.



8.1. att. *Trīslocīklu arkas*: a - *lēzenā arka ar savilci*, b – *neliela laiduma smailloka arka*, c – *liela laiduma augstā arka*, d – *trijstūrveida arka ar savilci*, e – *lokriba*

Trīslocīklu trijstūrveida sistēmas, kas sastāv no taisniem koka elementiem (spārēm) un savilces (8.1. att.- d), arī pieder arkveida balstbīdes konstrukcijām. Trijstūrveida arkas ir piemērotas 9...21 m laiduma pārsegšanai. Laiduma un pacēluma augstuma attiecību parasti vairāk ietekmē arhitektoniskie apsvērumi (L/f = 3...8). No statikas likumsakarībām jāatceras, ka, jo mazāks leņķis starp spāres un savilces asi, jo lielāki ass spēki.

Jumta nesošām konstrukcijām, kas balstās uz stingām mūra sienām, balstbīdes pārnešanai parasti pielieto apaļa vai profilēta tērauda savilci. Spāres elements strādā liecē līdzīgi kā vienkārša divbalstu sija. Lai kompensētu daļu no ārējās slodzes lieces momenta un samazinātu spāres elementa šķērsgriezuma izmērus, lietderīgi veidot ekscentrisku savienojumu balstā tā, lai mezglā saejošo spēku krustpunkts atrastos zemāk par spāres elementa simetrijas asi. Tāpat ekscentrisku savienojumu izveido kores mezglā. Tādējādi ass spēka ekscentritātes radītais lieces moments ($N_d \cdot e$) ievērojami samazina ārējās slodzes radīto momentu. Sekojoši lieces momentu spāres elementa vidējā šķēlumā aprēķina kā starpību: $M_d = q_d \cdot L^2 / 8 - N_d \cdot e$.

Sevišķs koka arkas paveids ir ***lokriba***. Lokriba ir arka, kas veidota no divām vai vairākām savā starpā pamīšus sanaglotu neliela garuma dēļu kārtām (8.1. att.- e), ko vēsturiski sauc par ribām. Naglotie savienojumi ilgstošos ekspluatācijas gados var kļūt padevīgi (ribu elementu gali pagriežas viens attiecībā pret otru), tādēļ lokribas pieskaitāmas pagaidu konstrukcijām. Ribas augstumu pieņem ne mazāku par $L/80$, kur L- lokribas laidums. Tā kā maksimālais dēļa platums ir apmēram 22 cm, tad attiecīgi lokribas laidums ir 18...20 m.

Lokriba ir garenvirzienā salikts stienis. Aprēķina modelī pieņem, ka ārējo slodžu lieces momentu apskatāmajā posmā kompensē spēkpāra moments, ko izraisa savienotājlīdzekļu reaktīvie spēki ribu savienojumos. No statikas līdzsvara nosacījuma iegūst bīdes spēka lielumu ($F_{v,Ed}$), ko jāpārnes naglām savienojumā: $F_{v,Ed} = M_d / a$.

Pēc statiskās shēmas izšķir divlocīklu un trīslocīklu arkas. Koka arku balstmezglus parasti veido kā nekustīgas locīklas. Arī korē veido locīklas tipa pusarku montāžas mezglu. Kā divlocīklu konstrukcijas parasti veido lēzenās līmētās koka arkas. Tās veido no viena montāžas elementa, kura gabarītizmērus ierobežo transportēšanas nosacījumi (20...30 m).

8.2. Loku ģeometriskās sakarības

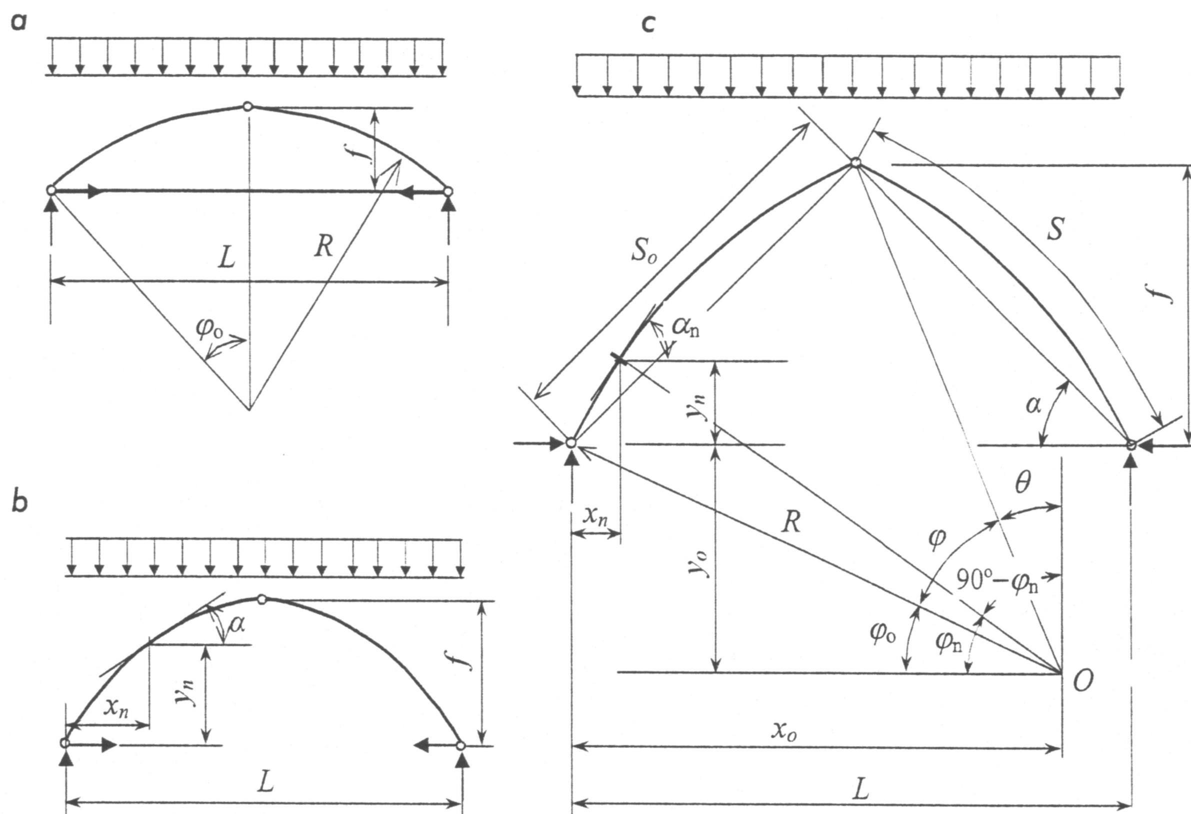
Liektās arkas asi projektē kā aploces daļu vai parabolu (8.2. att.). Parabolas gadījumā arkas ass koordinātes (8.2. att.- b) un pieskares leņķa tangensu apraksta vienādojumi:

$$y = \frac{4 f x (L - x)}{L^2} \qquad (8.1) \qquad \mathrm{tg}\alpha = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = \frac{4 f (L - 2x)}{L^2}, \qquad (8.2)$$

kur L ir arkas laidums un f ir arkas pacēluma augstums.

Aploces tipa arku ģeometriskos parametrus saista sekojoši vienādojumi:

- aploces tipa arkas (8.2. att.- a) rādiuss $R = (L^2 + 4f^2)/(8f)$; (8.3)
- arkas pusloka hordas parametri $S_o = \sqrt{f^2 + (L/2)^2}$; $\alpha = \mathrm{arctg}(2f/L)$ (8.4, 8.4a)
- smailloka arkas (8.2. att.- c) pusloka rādiuss $R = S_o^2/(8f) + f_o/2$, kur $f_o \approx S_o/15$ (8.5)
- pusarkas centra leņķis $\varphi = 2\arcsin(S_o/(2R))$ un $\varphi_o = 90° - \Theta - \varphi$; (8.6, 8.6a)
- balsta punkta koordinātes $x_o = R\cos\varphi_o$; $y_o = R\sin\varphi_o$; (8.7, 8.7a)
- pusloka garums $S = \pi \cdot R \cdot \varphi/180$; (8.8)
- pieskares slīpuma leņķis punktā n $\alpha_n = 90° - \varphi_n$, kur $\varphi_n = \arccos((x_o - x_n)/R)$; (8.9)
- punkta n ordināte $y_n = R \sin\varphi_n - y_o$. (8.10)



8.2. att. *Arku ģeometriskās shēmas*: a- *aploces segments*, b- *parabola*, c- *smailloka arkas ģeometriskā shēma*

8.3. Slodzes un lokveida arkas statiskais aprēķins

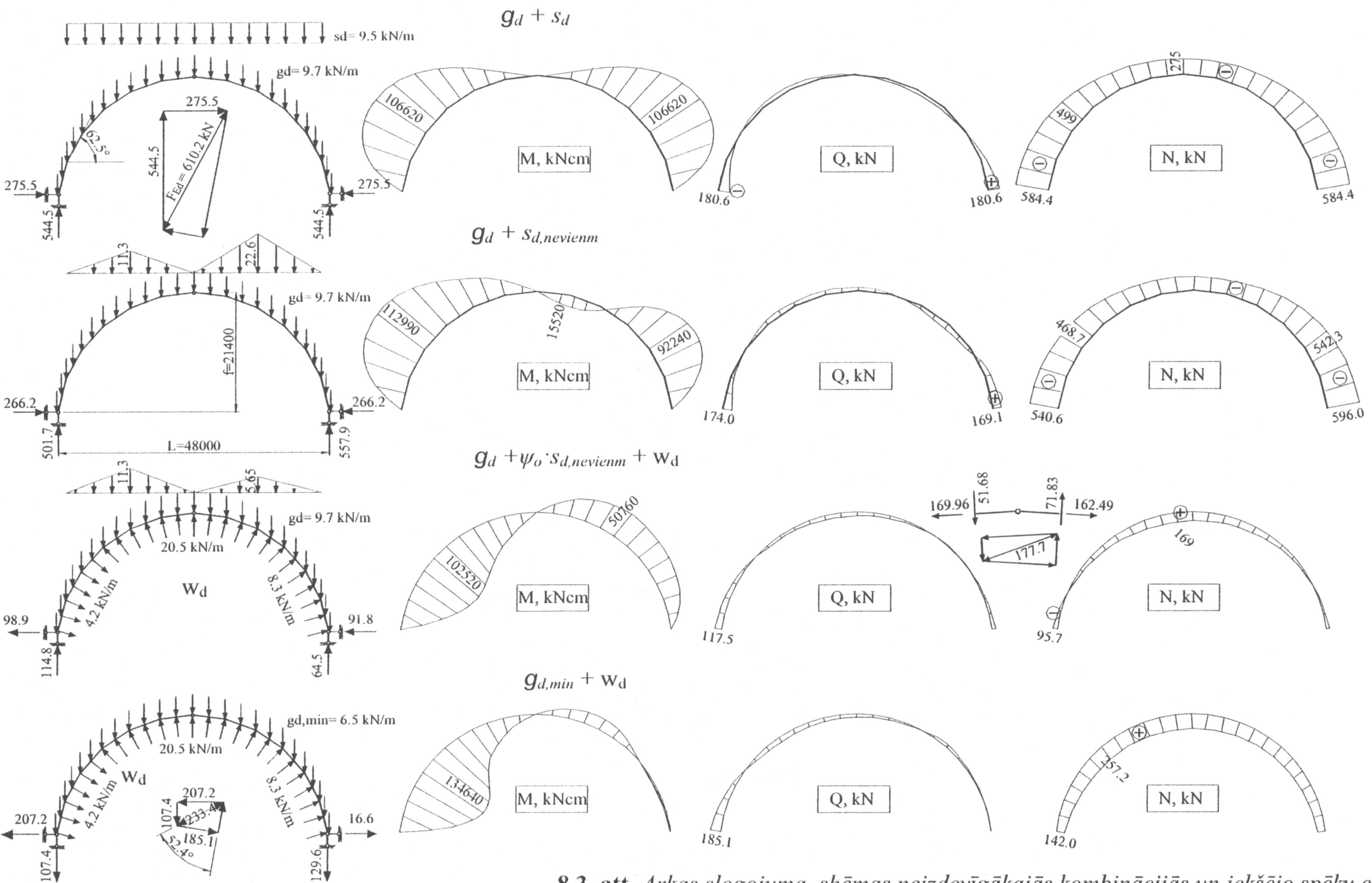
Šajā un nākamajās sadaļās apskatīts trīslocīklu līmētas lokveida arkas aprēķina un konstruēšanas piemērs. Arkas ar laidumu L= 48 m paredzētas kā halles nesošās konstrukcijas, kas izvietotas ar soli a = 7.2 m. Slodzes noteiktas saskaņā ar 1.Eirokodeksu (skatīt 1. nodaļu).

Savietotā jumta konstrukcijas pašsvara slodzes raksturvērtība $g_{j,k}$ = 0.75 kN/m². Pastāvīgās lineārās slodzes raksturvērtība uz arkas asi ir g_d = 9.7 kN/m (ietverot prognozējamo arkas pašsvaru). Arkas pašsvara noteikšanai var izmantot empīriskas sakarības, piemēram, formulu (5.5) vai datus no līdzīgiem projektiem. Līdzīgu slodžu aprēķina piemēru var skatīt 5. nodaļā. Uz arku darbojošos slodžu aprēķina vērtības skatīt 8.3. attēlā pie slogojuma shēmām.

Mainīgās sniega un vēja slodzes noteiktas atbilstoši Liepājas pilsētas teritorijai. Sniega slodzes raksturvērtība uz zemi, s_k = 1.1 kN/m² [*LBN 003-01, 16ᵃ. tab.*]. Sniega slodzes aprēķina shēmas (vienmērīgi sadalītā un trijstūrveida sniega kaudzītes) un atbilstošie izvietojuma koeficienti noteikti saskaņā ar 1.Eirokodeksu [*LVS EN 1991-1-3*].

Vēja iedarbes noteiktas saskaņā ar 1.Eirokodeksa 4.daļu [*LVS EN 1991-1-4*] pamatojoties uz vēja ātruma bāzes vērtību $v_{b,0}$= 25 m/s [*LBN 003-01, 1¹. att.*] un pieņemts, ka objekts atrodas jūras piekrastes teritorijā.

Arkas statiskais aprēķins veikts slodžu pamatkombinācijām, kas definētas Eirokodeksu pamatdokumentā [*LVS EN 1990*]. Trīslocīklu arka ir statiski noteicama sistēma, tātad iekšējos spēkus var noteikt ar šķēlumu metodi, saskaņā ar statikas likumiem sastādot līdzsvara vienādojumus arkas atšķeltajai daļai (līdzīgi kā portālrāmja rīģeļa šķēlumiem- skatīt sadaļu 7.1). Analizējot statiskā aprēķina rezultātus, kā neizdevīgākās atzītas 8.3. attēlā parādītās slodžu kombinācijas, kas ilustrētas ar iekšējo spēku epīrām.



8.3. att. *Arkas slogojuma shēmas neizdevīgākajās kombinācijās un iekšējo spēku epīras*

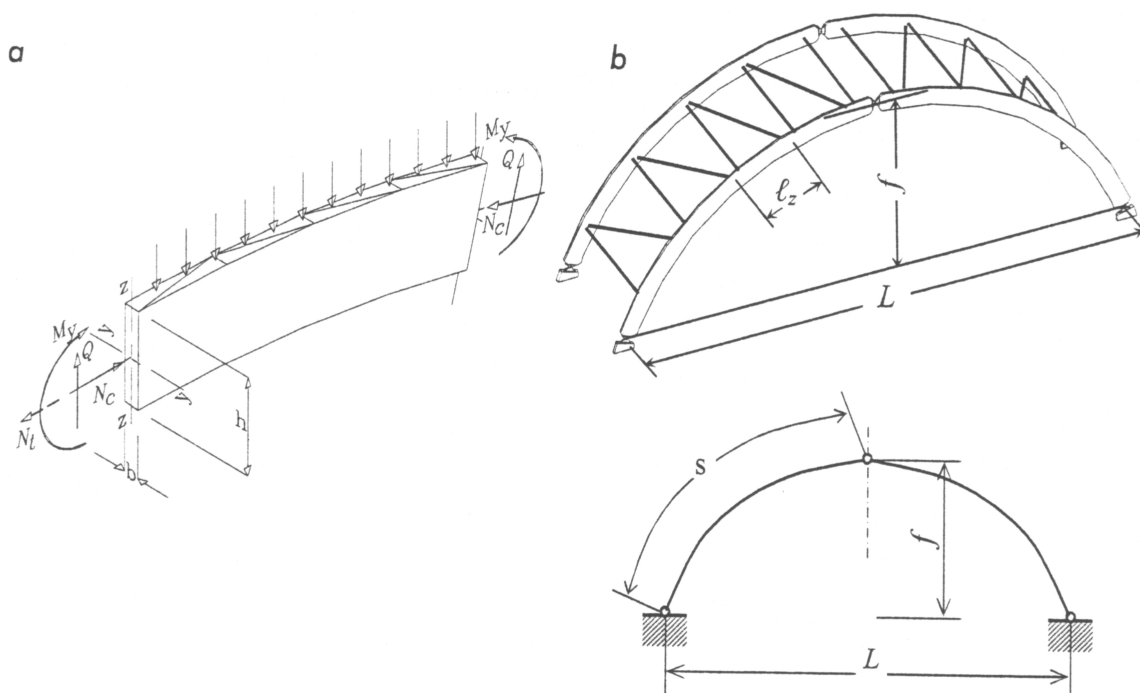
8.4. Arkas elementa šķērsgriezuma stiprības un noturības aprēķins

Liellaiduma līmētām koka arkām parasti izvēlas taisnstūra formas šķērsgriezumu, kura platumu b atbilstoši arkas laidumam pieņem no konstruktīviem apsvērumiem (lokanums montāžas laikā, ugunsizturība u.c.), šajā gadījumā b= 250 mm. Nepieciešamo šķērsgriezuma augstumu h nosaka tuvināšanas ceļā, šajā gadījumā h= 1450 mm, ko iegūst salīmējot 45 izliektu dēļu kārtas ar biezumu- 33 mm. Arkas iekšējo spēku aprēķina rezultāti slodžu kombinācijās rāda, ka ekspluatācijas laikā iespējami gan stiepes, gan spiedes spriegumstāvokļi kombinācijā ar lieci. Sekojoši arkas šķērsgriezuma stiprības un noturības aprēķini veikti, izmantojot aksiālspēku un lieces momentu aprēķina vērtības visvairāk piepūlētajos šķēlumos slodžu kombinācijās:

- pastāvīgā un vienmērīgi sadalītā sniega slodze: $N_{c,d}$ = - 499 kN, M_d = 1066.2 kNm;
- pastāvīgā un nevienmērīga sadalījuma sniega slodze: $N_{c,d}$= -468.7 kN, M_d= 1129.9 kNm;
- minimālā pastāvīgā slodze un vēja iedarbe: $N_{c,d}$ = +257.2 kN, M_d = 1346.4 kNm.

Arkas elementa slogojuma shēma parādīta (8.4. att.- a). Spiesti liektu un stiepti liektu elementu nestspējas robežstāvokļu nosacījumi apskatīti iepriekš punktā 3.2. saskaņā ar 5.Eirokodeksu [*LVS EN 1995-1-1*], aprēķina rezultāti doti 8.1. tabulā.

Spiestā pusarkas elementa efektīvo (aprēķina) garumu darba plaknē aprēķina, ņemot vērā faktoru μ = 1.25: $\ell_{ef,y} = 1.25 \cdot s = 1.25 \cdot 3376$= 4220 cm. Arkas pacēluma augstuma un laiduma attiecība atbilst faktora μ definēšanas apgabalam: $0.15 \leq f/L \leq 0.5$ (f/L = 21.4/48= 0.45). Efektīvo garumu šķērsām arkas darba plaknei pieņem vienādu ar attālumu starp saišu (kopturu) nostiprinājuma punktiem $\ell_{ef,z}$ = 300 cm (skatīt 8.4. att.- b), kas dod nelielu slaiduma vērtību λ_z = 41.5, nesastāda bīstamību ļodzei pret asi z-z. Arkas šķēluma augstuma un platuma attiecība h/b = 1485/250 ≈ 6, pēc kā var spriest, ka šķērsgriezums ir pietiekami stabils lieces plaknē.



8.4. att. *Shēmas arkas šķērsgriezuma aprēķina parametru noteikšanai*: a- *arkas elementa slogojuma shēma*, b- *shēmas arkas elementa efektīvā garuma noteikšanai*.

Arkas šķēlumu stiprības un noturības aprēķinu rezultāti **8.1. tabula**

Raksturlielums	Apzīmējums	Raksturīgās slodžu kombinācijas			Mērvienība
		$g_d+s_{d,vienm}$	$g_d+s_{d,nev}$	$g_{min}+w_d$	
Aprēķina lieces moments	$M_d =$	106620	112990	134640	kNcm
Ass spēks	$N_d =$	-499.00	-468.70	257.20	kN
Šķērsspēks pie balsta	$V_d =$	180.60	174.00	185.10	kN
Materiāla pretestības vērtības (stiprības klase Gl28h)					
Pretestības raksturvērtība liecē	$f_{m,g,k} =$	2.8			kN/cm^2
Pretestības raksturvērtība skaldē	$f_{v,g,k} =$	0.32			kN/cm^2
" spiedē šķiedru virzienā	$f_{c,0,g,k} =$	2.65			kN/cm^2
" stiepē šķiedru virzienā	$f_{t,0,g,k} =$	1.95			kN/cm^2
Modifikācijas faktori	$k_{mod} =$	0.8	0.8	0.9	
Materiāla drošuma faktors	$\gamma_M =$	1.25			
Aprēķina pretestība liecē	$f_{m,g,d} =$	1.79	1.79	2.02	kN/cm^2
Aprēķina pretestība skaldē	$f_{v,g,d} =$	0.20	0.20	0.23	kN/cm^2
" pretestība spiedē šķiedru virzienā	$f_{c,0,g,d} =$	1.70	1.70	1.91	kN/cm^2
" pretestība stiepē šķiedru virzienā	$f_{t,0,g,d} =$	1.25	1.25	1.40	kN/cm^2
Elastības modulis- garantētā vērtība	$E_{0,05} =$	1020			kN/cm^2
Bīdes modulis- garantētā vērtība	$G_{0,05} =$	58.5			kN/cm^2
Pusarkas ģeometriskie raksturlielumi:					
šķērsgriezuma platums	$b =$	25			cm
šķērsgriezuma augstums	$h =$	148.5			cm
šķēluma laukums	$A =$	3712.5			cm^2
šķēluma pretestības moments	$W_y =$	91884.4			cm^3
šķēluma inerces rādiuss	$i_y =$	42.9			cm
pusarkas efektīvais garums lieces plaknē	$l_{ef,y}=$	4220.0			cm
pusarkas elementa slaidums pret y-y	$\lambda_y =$	98.3			
Spiesti liektā elementa stiprības un noturības pārbaude arkas darba plaknē					
Normālspriegumi no lieces momenta	$\sigma_{m,d} =$	1.16	1.23	1.47	kN/cm^2
Normālspriegumi no ass spēka	$\sigma_{N,d} =$	0.13	0.13	0.07	kN/cm^2
Relatīvais slaidums	$\lambda_{rel,y} =$	1.60		1.60	
Slaiduma parametrs	$k_y =$	1.84		-	
Ļodzes faktors	$k_{cy} =$	0.23		-	
Nestspējas izmantošanas pakāpe	$c=$	99.0	100.0	78.0	%
Tangenciālspriegumu stiprības pārbaude šķēlumam pie balsta					
Šķēluma augstums pie balsta	$h_o =$	70.0	70.0	70.0	cm
Inerces moments šķēlumam uz balsta	$J_o =$	714583	714583	714583	cm^4
Statiskais moments šķēlumam uz balsta	$S_{br} =$	15313	15313	15313	cm^3
Tangenciālspriegumi	$\tau_d =$	0.155	0.149	0.159	kN/cm^2
Nestspējas izmantošanas pakāpe skaldē	$c_s =$	75.6	72.8	68.9	%

8.5. Arkas balstmezgla risinājums un elementu nestspējas aprēķini

Saskaņā ar pieņemto arkas aprēķina shēmu balstmezglā izveido nekustīgas locīklas tipa savienojumu, ko var izveidot vairākos veidos. Šeit piedāvātais risinājums parādīts 8.5. attēlā.



8.5. att. *Arkas balstmezgla risinājums.*

Arkas nostiprināšanai pie pamata līmētā elementa LKA galā izfrēzē 10 mm platas ligzdas, kurās ievieto tērauda plāksnes 1 (skatīt mezgla detaļu M1 8.5. att.) un nostiprina ar skrūvēm 3. Dominējošās slodžu kombinācijās arka ir spiesta visos šķēlumos. Fiksēsim elementus, kas pārnes spiedes spēku uz pamatu (8.5. att.): arkas gala atbalstplātne 2 → ribas 6 → cilindrisks tērauda elements 7 (ar iekšēju vītni) → ribas 8 → atbalstplātne 9 → pamata betons.

Apskatāmajā būvniecības rajonā, kur iespējamas sevišķi ekstremālas vēja iedarbes, minimālās pastāvīgās slodzes un vēja iedarbes kombinācijā arka ir stiepta visos šķēlumos, un uz pamatu iedarbojas atraušanas spēks. Tādā gadījumā spēka pārnese uz pamatu notiek pa sekojošiem elementiem: arka LKA → skrūves 3 → plāksnes 1 → arkas gala atbalstplātne 2 → sāniskās fasonlapas 10 → tapa (vītņstienis), kas montāžas laikā droši noķīlēts lielāka diametra urbumā, 11 → cilindriskā tapa 7 → metinātās šuves → ribas 8 → metinātās šuves → atbalstplātne 9 → enkuri 12 → pamata betons.

Tērauda plāksnes 1, kuru biezums t= 8 mm, paredzēts nostiprināt ar 12 skrūvēm (n= 12). Skrūves diametrs d= 12 mm, stiprības klase 6.8, tās strādā 4 nobīdes plaknēs (n_c= 4, skatīt aprēķina shēmu 8.6. att.- a). Šo skrūvju uzdevums ir nodrošināt pietiekamu reaktīvo spēku šķērsspēka V_d iedarbei (V_d = 180.6 kN pastāvīgās un mainīgās sniega slodzes kombinācijā). Leņķis starp bīdes spēka un šķiedru garenvirzienu- 90°. Koksnes malējās daļas biezums savienojumā t_1= 66 mm. Koksnes blīvuma raksturvērtība ρ_k= 410 kg/m^3 (Gl28h). Aprēķinām un pārbaudām koka-metāla skrūvsavienojuma nestspēju [*LVS EN 1995-1-1, sadaļa 8.2*].

Koksnes pretestība skrūves iespiešanai ligzdas sieniņā šķiedru virzienā:

$$f_{h,0,k} = 0.082\cdot(1-0.01\cdot d)\cdot\rho_k = 0.082\cdot(1\text{-}0.01\cdot12)\cdot 410 = 29.6\ \text{N/mm}^2;$$

- parametrs $k_{90} = 1.35 + 0.015\cdot d = 1.35 + 0.015\cdot12 = 1.53$;

- aprēķina pretestība lokālā spiedē leņķī α pret šķiedru virzienu:

$$f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\cdot\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{29.6}{1.53\cdot\sin^2 90° + \cos^2 90°} = 19.3\,N/mm^2.$$

Lieces momenta raksturvērtība skrūvei:

$$M_{y,Rk} = 0.3\cdot f_{u,k}\cdot d^{2.6} = 0.3\cdot 600\cdot 12^{2.6} = 115118\ \text{Nmm}.$$

Skrūves nestspējas raksturvērtības sagaidāmajos robežstāvokļos- koksnes virsmas spiedē un skrūves liecē:

$$F_{v,Rk,1} = f_{h,90,k}\cdot t_1\cdot d = 19.3\cdot 66\cdot 12 = 15315\ \text{N};$$

$$F_{v,Rk,3} = f_{h,90,k}\cdot t_1\cdot d\cdot\left[\sqrt{2+\frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,90,k}\cdot d\cdot t_1^2}}-1\right] = 19.3\cdot 66\cdot 12\cdot\left[\sqrt{2+\frac{4\cdot 115118}{19.3\cdot 12\cdot 66^2}}-1\right] = 8684\,N;$$

$$F_{v,Rk,4} = 2.3\cdot\sqrt{M_{y,Rk}\cdot f_{h,,90,k}\cdot d} = 2.3\cdot\sqrt{115118 19.3\cdot 12} = 11887N.$$

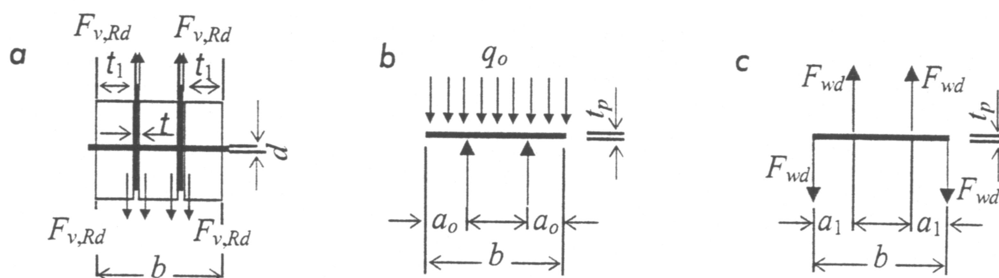
Skrūves nestspējas raksturvērtība vienā nobīdes plaknē ir minimālā no vērtībām $F_{v,Rk,1}$, $F_{v,Rk,3}$, $F_{v,Rk,4}$: $F_{v,Rk}$ = 8684 N.

Skrūves nestspējas aprēķina vērtību vienā nobīdes plaknē nosaka ņemot vērā vides apstākļus un slodzes darbības ilgumu (k_{mod}) un drošuma faktoru (γ_M):

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk}\cdot k_{mod}/\gamma_M = 8684\cdot 0.8/1.3 = 5343.9\ \text{N}.$$

Savienojuma kopējā nestspēja ir lielāka par pārnesamo bīdes spēka vērtību:

$$F_{v,Rd,s} = n_c\cdot n\cdot F_{v,Rd} = 4\cdot 12\cdot 5343.9 = 256507\ \text{N} = 256.5\ \text{kN} \geq V_d = 180.6\ \text{kN}.$$



8.6. att. *Balstmezgla elementu aprēķina shēmas:* **a**- *skrūvju slogojuma shēma;* **b, c**- *atbalstplātnes slogojuma shēmas attiecīgi slodžu kombinācijās* $(g_d + s_d)$ *un* $(g_{d,min} + w_d)$.

Savienojuma nestspēja būs pietiekama arī minimālās pastāvīgās slodzes un vēja iedarbes kombinācijā, kad skrūvēm jāpārnes spēku rezultante F_{Ed} = 233.4 kN (skatīt spēku poligonu 8.3.att.), kas iedarbojas 52.4° leņķī pret koksnes šķiedru garenvirzienu.

Atbalstplāksne 2 (8.5. att.) strādā liecē. Pastāvīgās un sniega slodzes kombinācijā $(g_d + s_d)$ uz atbalstplātni tiek pārnests spiedes spēks N_d = 584.4 kN, kas vienmērīgi sadalās pa tās laukumu A_p= 70x25= 1750 cm². Kā reaktīvais spēks attiecībā pret atbalstplāksni darbojas fasonlapu 3 pārnestā lineārā slodze. Par atbilstošu atbalstplāksnes aprēķina modeli pieņem vienkāršu konsolsiju (8.6. att.- **b**), kuras šķēluma platums- 1 vienība un uz kuru iedarbojas vienmērīgi sadalīta slodze ar intensitāti q_o:

$q_o = (N_d / A_p) \cdot 1 = (584.4/1750) \cdot 1 = 0.33$ kN/cm.

Apskatāmajā slodžu kombinācijā konsolsijas šķēlumā virs balsta aprēķinām lieces momentu:

$M_d = q_o \cdot a_o^2/2 = 0.33 \cdot 6.8^2/2 = 7.63$ kNcm.

Atbalstplāksnes biezumu aprēķina no tērauda stiprības nosacījuma liecē $\sigma = M_d/W \leq f_{y,d}$, kur $f_{y,d}$ ir būvtērauda aprēķina pretestība pie tecēšanas robežas. Nepieciešamais 1 cm platās plāksnes joslas šķēluma pretestības moments:

$W_{cal} = M_d / f_{y,d} = 7.63/22.4 = 0.34$ cm³.

No taisnstūra šķēluma pretestības momenta formulas ($W = 1 \cdot t_p^2/6$) aprēķinām nepieciešamo atbalstplāksnes biezumu t_p un pieņemam tuvāko lielāko pēc sortimenta:

$t_p = \sqrt{6 \cdot W_{cal}} = \sqrt{6 \cdot 0.34} = 1.42\ \text{cm} \rightarrow 16\ \text{mm}.$

Minimālās pastāvīgās slodzes un vēja iedarbes kombinācijā $(g_{d,min}+w_d)$ atbalstplātne 2 ir slogota liecē atbilstoši 8.6. att.- **c** parādītajai shēmai. Prognozējamo ekstremālās vēja iedarbes komponenti, aprēķina ņemot vērā iespējamo spēku nevienmērīgu sadalījumu starp fasonlapām: F_{wd}=142/(2·0.8) = 88.75 kN, kas savukārt izraisa lieces momentu atbalstplāksnes šķēlumā $M_{d,w} = F_{wd} \cdot a_1$ = 88.75 · 8.6 = 763.2 kNcm. Atbilstošais nepieciešamais šķēluma pretestības moments ir $W_{cal} = M_d/f_{y,d}$ = 763.2/22.4 = 34.1 cm³ un atbalstplāksnes biezums t_p: $t_p = \sqrt{6 \cdot W_{cal}/h_o} = \sqrt{6 \cdot 34.1/70} = 1.71\ \text{cm} \rightarrow 18$ mm, ko pieņem par galīgo lielumu.

Pamata plāksne 9 (8.7. att.- **a**) pārnes slodzi uz betonu. Līdzīgi kā iepriekš apskatītā arkas gala atbalstplāksne tā ir slogota liecē (8.7. att.- **b**). Pamata plāksnes aprēķina modelī pieņem, ka lineārā slodze, ko pārnes fasonlapas 8, vienmērīgi sadalās uz pamata betonu visā plāksnes laukumā A_f= 50x30= 1500 cm². Vispirms pārbaudām betona (B25/30) stiprību spiedē slodžu pamatkombinācijā $(g_d + s_d)$:

$\sigma_{c,d} = N_{d,f} / A_f \leq f_{c,d} = f_{c,k}/\gamma_c$; $\sigma_{c,d} = 590/1500 = 0.39$ kN/cm² $\leq f_{c,d} = 2.5/1.5 = 1.7$ kN/cm²,

kur $N_{d,f}$ - spiedes spēks uz pamatu, pieskaitot detaļu pašsvaru $N_{d,f}$ = 590 kN;

$f_{c,k}$ – betona pretestības raksturvērtība spiedē, $f_{c,k}$ = 2.5 kN/cm^2;

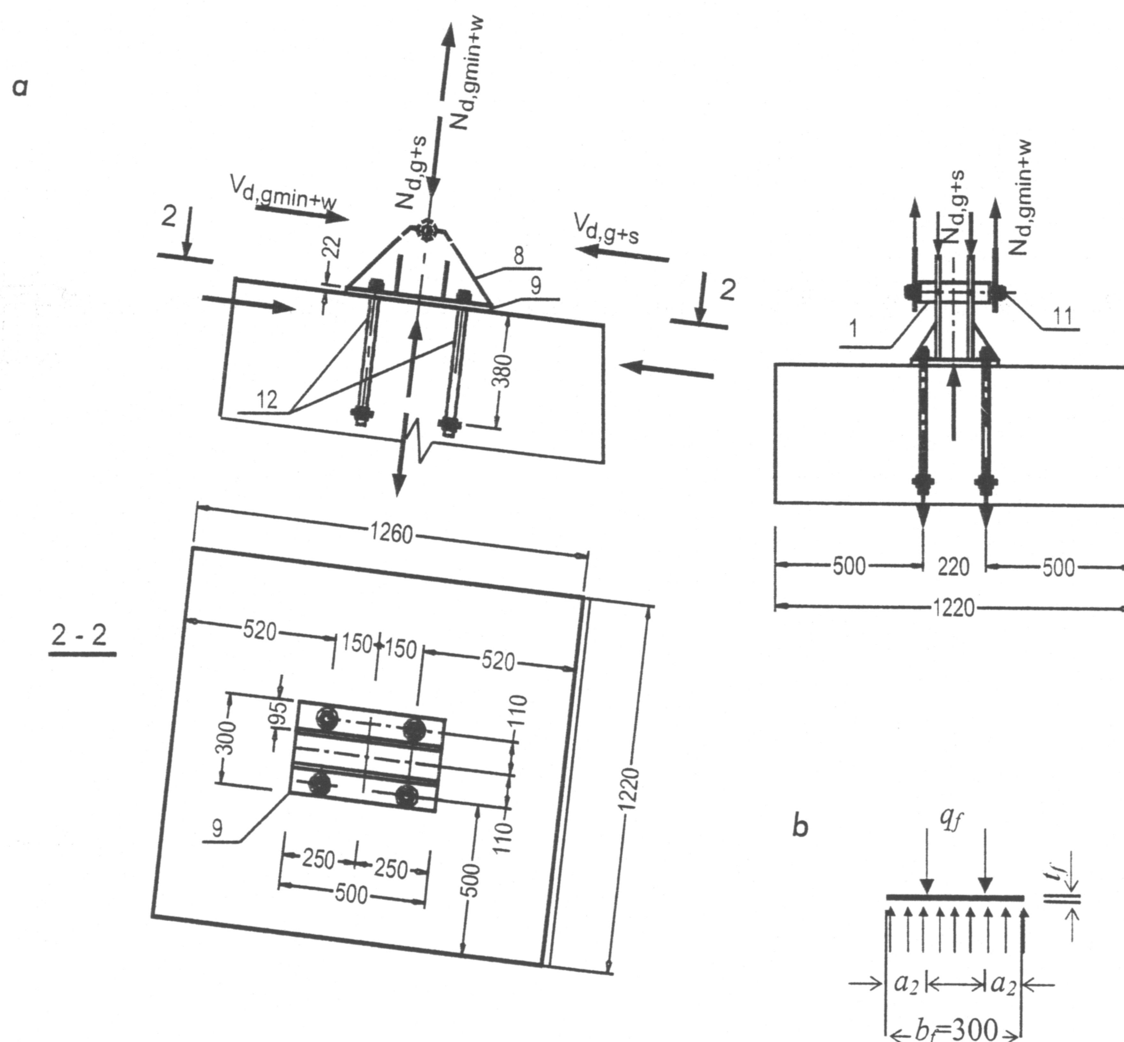
γ_c – materiāla drošuma faktors galīgajam robežstāvoklim, γ_c = 1.5 [*LVS EN 1992-1-1, punkts 2.4.2.4*].

Slodzes intensitāte (q_o) uz 1 vienību platu pamata plāksnes joslu: $q_o = \sigma_{c,d} \cdot 1 = 0.39$ kN/cm. Maksimālais lieces moments plāksnes šķēlumā: $M_d = q_o \cdot a_o^2/2 = 0.39 \cdot 9.5^2/2 = 17.75$ kNcm. Nepieciešamais plāksnes šķēluma pretestības moments: $W_{cal} = M_d / f_{y,d} = 17.75/22.4 = 0.79$ cm^3, ko var nodrošināt ar sekojošu pamata plāksnes biezumu:

$$t_f = \sqrt{6 \cdot W_{cal}} = \sqrt{6 \cdot 0.79} = 2.18\ cm \rightarrow 22mm.$$

Noenkurojuma nestspējas aprēķinu skatīt 4.nodaļas punktā 4.11.4.

Arkas kores mezglā arī veido locīklas tipa savienojumu. Var pielietot tradicionālo risinājumu- ar vienu stingu apaļtērauda tapu, uz kuras uzmauktas fasonlapas. Šis risinājums ir vienkāršāks, bet nepieciešami sevišķi precīzi izgatavoti montāžas elementi. Mezgla elementu aprēķina shēmas ir līdzīgas kā balstmezglā. Liellaiduma arku mezglu risinājumi var būt visai daudzveidīgi, ar tiem var iepazīties speciālajā literatūrā [*Timber construction manual*, 2004; Конструкции,1981; *Шмидт*, 2002].



8.7. att. *Pamata plātnes un enkuru aprēķina shēmas*: **a**- *pamata elementi un slogojuma shēmas*; **b**- *pamata plātnes slogojuma shēma slodžu pamatkombinācijā* $g_d + s_d$.